

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

В работе представлены результаты исследования влияния воздействия ультразвука в процессе сварки взрывом на структуру и свойства получаемых соединений. Показано, что сварка взрывом с воздействием ультразвука позволяет существенно расширить область свариваемости пары алюминий-медь.

Ключевые слова: *сварка взрывом, ультразвуковая обработка, структура и свойства, область свариваемости.*

A. P. Peev, S. V. Kuz'min, V. I. Lysak, E. V. Kuz'min, A. N. Dorodnikov

ULTRASOUND-ASSISTED EXPLOSIVE WELDING: SOME ASPECTS OF FORMATION OF JOINTS

This paper presents the results of the effect of ultrasound on structure and properties of explosion welded materials. It is shown that the ultrasound-assisted explosive welding can significantly extend the weldability of aluminum-copper pairs.

Keywords: *explosive welding, ultrasound treatment, structure and properties, weldability.*

Сварка взрывом является одним из наиболее эффективных, а в ряде случаев и единственным способом создания широкого спектра композиционных материалов практически любых разнородных материалов с прочностью на уровне свойств основных металлов, при сравнительно низкой себестоимости технологического процесса.

Однако, при сварке взрывом трудносвариваемых материалов с резко отличающимися физико-механическими свойствами, диапазон получения качественного соединения значительно уже, чем при сварке металлов с удовлетворительной металлургической совместимостью, и любое отклонение от оптимальных значений параметров взрывного нагружения приведет к

образованию различного рода дефектов, снижающих прочностные и эксплуатационные свойства соединения. Известно, что воздействие на металл (как в жидкой, так и твердой фазах) ультразвуковых колебаний приводит к ряду положительных явлений улучшающих процесс их обработки, в том числе и при сварке.

Целью данной работы являлось исследование влияния ультразвука на структуру и свойства в процессе формирования соединения при сварке взрывом.

При проведении экспериментов для сварки взрывом в качестве исходных материалов применялись как пластины из однородных материалов стали ВСт3сп, отоженной меди М1, алюминия А5, так и разнородных – М1+А5.

Сварка взрывом осуществлялась в бронекамере ВолгГТУ на оптимальных для данной пары металлов режимах, обеспечивающих получение высокой прочности соединения слоев. Расчет параметров режима сварки взрывом осуществляли с использованием пакета прикладных программ EWSalc [1].

Для проведения сравнительных исследований при идентичных условиях взрывного нагружения применялась усовершенствованная схема сварки взрывом с одновременной ультразвуковой обработкой [2; 3] одной из свариваемых неподвижных пластин (рис. 1), которая позволяла одной метаемой пластиной одновременно сваривать два неподвижных образца, один из которых являлся исследуемым (с воздействием УЗ колебаний), второй – контрольным (без применения ультразвука).

В качестве ультразвукового генератора использовали современную установку УЗГИ-2 питающую пьезокерамический преобразователь, предназначенный для преобразования электрических сигналов в механические колебания (рис. 2).

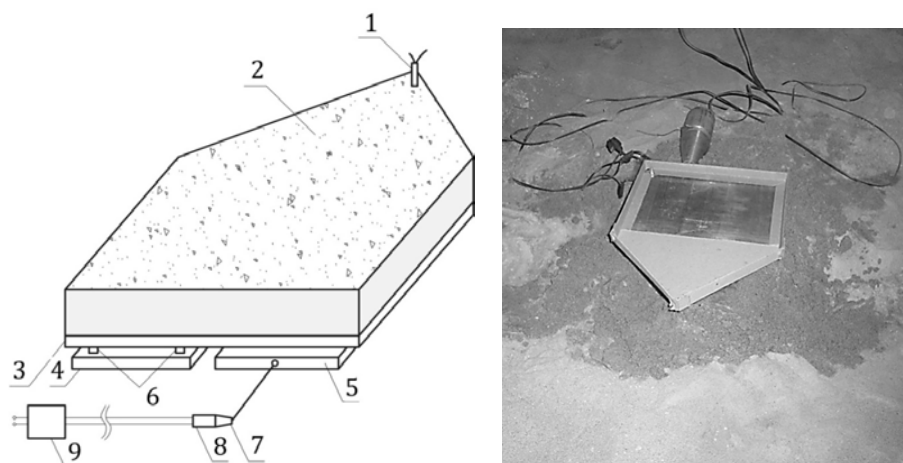


Рис. 1. Схема сварки взрывом с воздействием ультразвука:

- 1 – электродетонатор; 2 – заряд ВВ; 3 – метаемая пластина; 4 – неподвижная пластина;
5 – неподвижная пластина с подводом ультразвуковых колебаний; 6 – опорные элементы;
7 – волновод; 8 – пьезокерамический преобразователь; 9 – ультразвуковой генератор

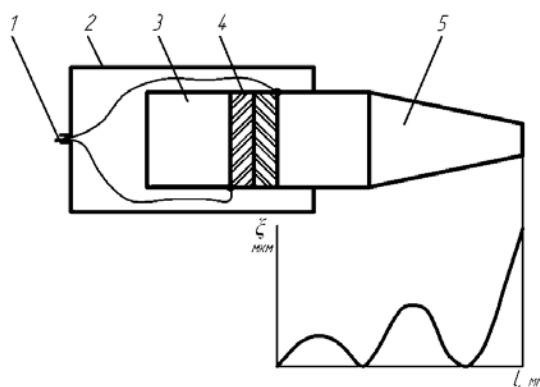


Рис. 2. Пьезокерамический преобразователь:

- 1 – электрический кабель; 2 – корпус; 3 – отражающая накладка; 4 – пьезокерамический диск; 5 – концентратор (волновод)

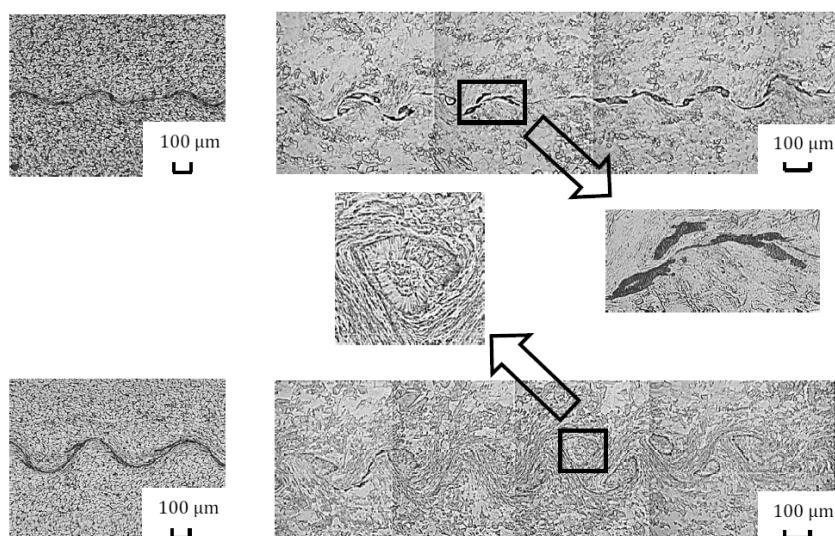


Рис. 3. Микроструктура границы соединений Ст3+Ст3 (а, в) и М1+М1 (б, г), полученных: а, б – сварка взрывом + УЗО; в, г – сварка взрывом

В ходе проведения исследований впервые обнаружен эффект изменения структуры и свойств сварных соединений в условиях сварки взрывом с воздействием ультразвука, проявляющийся в увеличении их прочности, микротвердости приконтактных слоев металла и существенном уменьшении параметров волн и количества оплавленного металла в зоне соединения по сравнению с соответствующими характеристиками образцов, полученных сваркой взрывом без применения ультразвука.

Металлографические исследования показали, что воздействие ультразвуковых колебаний в процессе сварки взрывом приводит к уменьшению параметров волн и количества оплавленного металла на границе соединения как стальных (рис. 3, а) так и медных образцов (рис. 3, б) [4].

Так, установлено, что в медных образцах воздействие ультразвуковых колебаний принципиально меняет волновой профиль зоны соединения, форму и структуру оплавленных участков: при сварке взрывом с ультразвуком наблюдаются небольшие волны с тонкой прерывающейся прослойкой оплавленного металла, вытянутой вдоль линии соединения (рис. 3, б), тогда как контрольные образцы имеют четко-выраженный синусоидальный профиль волны с оплавами больших объемов, вокруг центра кристаллизации которых расположены игольчатые дендриты (рис. 3, в).

С целью изучения влияния воздействия ультразвука на изменение области сварки взрывом меди с алюминием, а также на структуру и свойства полученных соединений также была проведена серия экспериментов сварки взрывом с воздействием ультразвука. Чтобы полностью охватить основные характерные области сварки взрывом пары алюминий-медь скорость точки контакта V_k варьировалась в диапазоне от 1600 до 3000 м/с, скорость соударения V_c от 140 до 530 м/с, а угол соударения изменялся от 4° до 15° , что позволяло менять энергию W_2 в диапазоне от 0,07 до 1,0 МДж/м²[5]. Результаты проведенных исследований показали, что в достаточно широком диапазоне режимов сварки взрывом в медно-алюминиевых образцах, подвергнутых одновременной УЗО, прочность на отрыв слоев $\sigma_{отр}$ выше, а количество оплавленного металла $K_{опл}$ на границе соединения значительно меньше по сравнению с контрольными образцами без воздействия ультразвука (рис. 4).

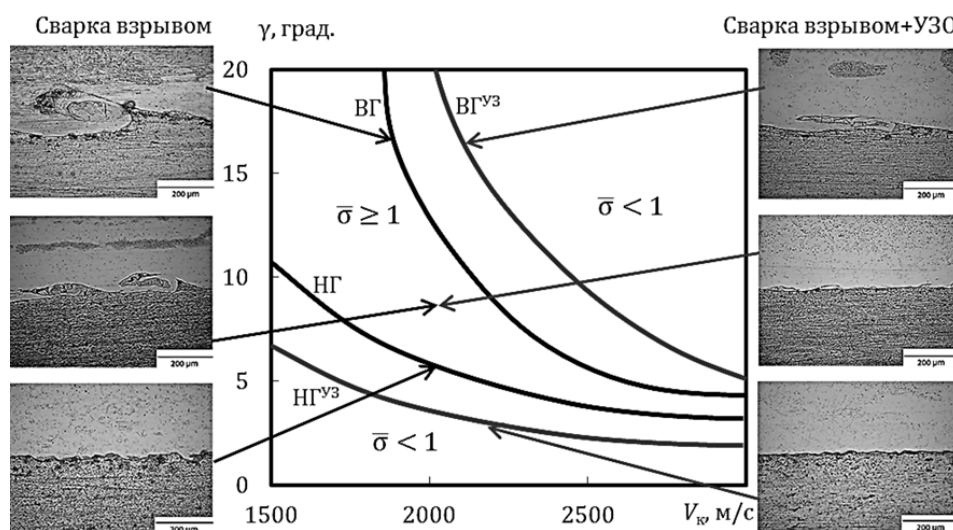


Рис. 4. Влияние воздействия ультразвука на область сварки взрывом соединения М1+А5:
ВГ – верхняя граница; НГ – нижняя граница

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что сварка взрывом с воздействием ультразвука позволяет существенно расширить область свариваемости пары алюминий-медь и получать на низкоинтенсивных режимах сварки равнопрочные соединения без оплавленного металла с минимальным развитием структурной и механической неоднородностей. Тем не менее несмотря на очевидный эффект данный комбинированный процесс является принципиально новым и требует дальнейшего детального исследования.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания № 2015/16 проект 1183

Список литературы

1. Лысак В. И., Кузьмин С. В. Сварка взрывом. – М. : Машиностроение–1, 2005. – 544 с.
2. Способ комбинированной сварки взрывом : пат. 2516179 РФ, МПК В23К 20/08 / Лысак В. И., Кузьмин С. В., Пеев А. П., Кузьмин Е. В. Заявл. 17.12.2012 г..
3. П.М. 140332 РФ, МПК В06В 1/06. Ультразвуковая колебательная система для обработки материалов / Кузьмин Е. В., Кузьмин С. В., Лысак В. И., Пеев А. П. Заявл. 24.12.2013.
4. Формирование структуры и свойств свариваемых взрывом соединений под действием ультразвука / А. П. Пеев [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2015. – Т. 116, № 8. – С. 861–866.
5. Lysak V. I., Kuzmin S. V. Energy balance during explosive welding // Journal of Materials Processing Technology.– 2015. – V. 222. – P. 356–364.